心理科学进展 2020, Vol. 28, No. 2, 305–315
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2020.00305

身体拥有感及其可塑性：基于内外感受研究的视角*

张 静[1] 陈 巍[2]

([1] 杭州电子科技大学心理健康研究所，杭州 310018) ([2] 绍兴文理学院心理学系，浙江 绍兴 312000)

摘 要 身体自我表征中的身体拥有感(即我的身体属于我的感受)问题一直是自我意识研究的核心话题。大量的已有研究表明，身体拥有感的体验涉及不同感官信号的整合，当前大多数研究只重视视觉、触觉等外感受的作用，一方面忽视了内感受的作用，另一方面也缺乏对两类感受整合的关注。橡胶手错觉实验和身体障碍患者身上所表现出的外感受和内感受对身体拥有感的影响支持了身体拥有感的可塑性假设，自由能量原理认为身体拥有感形成的基础是大脑不断评估更新可能性表征来维持稳定。未来的研究需要从改善内感受的测量和刺激呈现方法，探索影响内感受的高阶认知因素以及关注某些神经症患者的内感受等方面寻求突破。

关键词 身体拥有感；可塑性；多感官整合；内感受；自由能量原理

分类号 B848

1 引言

自我意识的重要内容之一是个体能将自身识别和表征为有别于他者，这一能力的发展也标志着自我意识的形成，因而自我感(sense of self)，尤其是身体拥有感(sense of body ownership)一直是自我意识研究中的核心问题。所谓身体拥有感，通常被界定为一个人的身体(或身体部分)属于某人自己的感受(Gallagher, 2000)。

围绕身体拥有感的最基本的研究是身体的自我识别问题。常用的传统范式有镜像自我识别测试(mirror self-recognition test)、自我–他者探测任务(self-other detection task)、自我–他者变形任务(self-other morphing task)以及掩蔽启动任务(masked priming task)等，这些方法的共同前提假设是我们拥有一个相对稳定的关于身体自我的内部表征。橡胶手错觉(rubber hand illusion)、虚拟手错觉(virtual hand illusion)和识脸错觉(enfacement illusion)等一系列研究的出现冲击着我们将自我表征视为不变的传统认知，也引发了越来越多的关于身体自我可塑性的思考。传统认知中，我们有着较为稳定的身体意象(body image)，但是橡胶手错觉实验中，短短十几分钟的实验处理就能让被试对不属于自己身体一部分的橡胶手产生拥有感，这些研究使得“自我感，或者更为确切的，身体拥有感是如何建立并持续更新的”再次成为认知科学和社会神经科学热议的话题(Riemer, Bublatzky, Trojan, & Alpers, 2015; Zhang, Ma, & Hommel, 2015)。越来越多的研究者也开始重视身体的感官和运动信号在身体拥有感产生中的基础性作用。

认知科学哲学家 Shaun Gallagher 认为“我们对自我开展研究，首先需要寻找的是即便在所有自我不必要的特征都被剥离之后，我们仍然拥有一种直觉，即存在一个基本的、直接的或原始的‘某物’，我们愿意称其为‘自我’”。基于此，他指出可以将自我划分为最小的自我(minimal self)和叙事的自我(narrative self)。在 Gallagher 看来，最小自我的觉知是通过拥有性和自主性的体验得以调节的，即拥有感(sense of ownership)和自主感(sense of agency)是两类能够帮助我们进行有效身体自我识别的重要体验。前者指的是“我”是某个动作或某种体验的拥有者的感觉；后者指的则是我是发起动作或导致动作产生的人的感觉(Gallagher, 2000; Braun et al., 2018)。具体举例而

收稿日期：2019-04-08
* 教育部人文社会科学青年基金(17YJCZH243)；国家社科基金青年项目(16CZX015)；浙江省社科联研究课题(2018B03)。
通信作者：陈巍, E-mail: anti-monist@163.com

言，当我因口渴想喝水而伸手拿水杯时，我将伸出的手感知为自己身体一部分的体验是拥有感；是我而不是其他人在伸手或想要伸手的感觉则是自主感。自 Botvinick 和 Cohen (1998)最早在 *Nature* 杂志上发表橡胶手错觉的研究之后，大量来自心理学和神经科学的研究表明多感官整合(multisensory integration)对身体拥有感的产生有着至关重要的作用。当前多数多感官整合的研究往往更重视外感受，但是内感受的作用其实是不能忽视的。一方面，广义的多感官整合既包含源于个体身体外部的外感受(exteroception)，如触觉、视觉等，也包含源于个体身体内部的内感受(interception)，如前庭觉、心跳觉知等；另一方面，内感受的调节作用也是不可忽视的(Critchley & Garfinkel, 2017; Murphy, Brewer, Catmur, & Bird, 2017)。本文将通过介绍错觉实验和身体自我病理学中内外感受作用的相关研究来阐释身体拥有感的可塑性。

2 身体拥有感错觉实验中的多感官整合

2.1 橡胶手错觉中外感受的整合作用

橡胶手错觉是一种将人造的外部对象(橡胶手)感受为自己真实身体一部分的知觉体验。在最初的橡胶手错觉实验中，主试将一只橡胶手置于被试面前的桌面上，用挡板将被试的真手遮挡于其视线之外，之后用两把规格相同的刷子同时轻刷橡胶手和被试的真手，约 10 分钟后，大多数被试会报告感觉橡胶手仿佛成为了自己身体的一部分，客观的本体感觉偏移(proprioceptive drift)结果也显示被试会更偏向于认为真手是位于橡胶手所在的位置。继经典橡胶手错觉实验之后，一系列探索拥有感错觉影响因素的研究陆续展开。Shimada, Fukuda 和 Hiraki (2009)发现视觉和触觉刺激之间的时间间隔至关重要，当时间间隔超过 600ms 之后，橡胶手就很难再被感受为被试身体的一部分了。Lloyd (2007)发现，真手与橡胶手之间的距离也很关键，当两者之间的距离超过 27.5 cm 时，错觉程度会显著下降。Tsakiris, Haggard, Franck, Mainy 和 Sirigu (2005)发现，真假手特征之间的一致性也会影响错觉的产生与否，当橡胶手被旋转至与真手成 90 度角的时候，橡胶手错觉程度也会出现明显下降。Guterstam, Petkova 和 Ehrsson (2011)也报告，用非人手形状的木块来代替橡胶手，或是所用橡胶手的左右手与被刷的真手不一致时，拥有感错觉程度也会降低甚至消失。这些研究结果都暗示，视觉、触觉等外感受在塑造身体拥有感过程中的作用及其工作机制可能更为复杂。结合虚拟现实技术，张静和陈巍(2016)考察了被试拥有感体验在不同的空间参照系中的变化情况。实验结果证实了视觉、触觉以及绝对距离等外感受信息对拥有感的影响，此外还发现相对位置变化会比绝对距离变化的影响更大。这一结果在证实身体拥有感可塑性的同时，也在一定程度上为探究身体拥有感形成的作用机制提供了更多的实证数据。

除了视觉和触觉，运动觉在橡胶手错觉中的作用也是至关重要的。传统橡胶手错觉往往更关注身体拥有感的影响因素，对自主感的变化及其与拥有感的交互作用重视不够。移动橡胶手错觉在经典范式基础上引入运动因素对拥有感和自主感进行双向分离的研究。借助一个特殊的装置，被试可以通过自主运动控制木头制成的仿真假手的运动，也可以由实验者控制仿真假手的运动从而带动被试真手的运动。结果发现，与经典橡胶手错觉结果一致的是，只有当真假手位置一致时被试才会对假手产生拥有感，说明了该实验装置与其它经典实验设置的一致性。实验还发现较之消极移动的情况，只有当真手的移动是被试自己发起时，被试才会对橡胶手产生自主感，同时也会有更强的拥有感(Kalckert, & Ehrsson, 2014)。这一方面说明了拥有感和自主感在一定条件下会发生分离，另一方面也体现了拥有感与自主感之间存在某种联系，自主感似乎能促进或提升拥有感的体验。在此之前，已有研究通过将触觉刺激作用于被试特定的手指并指导被试进行主动或者被动的手指移动发现，只有受到刺激的手指才会出现显著的本体感觉的偏移，而未受到刺激的手指则不会。但在主动移动的情况下，本体感觉偏移会出现在所有手指上(Tsakiris, Prabhu, & Haggard, 2006)，说明所有手指都产生了拥有感错觉。据此可见，自主感似乎能够对拥有感进行调节，运动觉能将局部的、零碎的身体拥有感整合到一个连续体中，形成统一的身体觉知。另有研究使用猫爪和人手作为刺激材料，通过同步和不同步的视觉反馈对自主感进行调节，结果显示，当虚拟手模态、视觉刺激和运动控制的反馈一致时，被试的拥有感和自主感是最高的，而自主感的缺失则

或多或少会导致拥有感的下降(对人手的影响较之对猫爪的影响更大), 进一步论证了运动觉在拥有感产生过程中起着重要的中介作用(Zhang & Hommel, 2016; Zhang, Chen, & Qian, 2018)。

尽管对于橡胶手错觉的产生到底是单一的多感官整合的结果还是多感官整合和身体表征共同作用的结果依然有分歧, 但是橡胶手错觉研究中所揭示出的以视觉、触觉、运动觉为主的外感受的整合在形成个体身体拥有感过程中的重要作用是显而易见的(张静, 2017)。在大量橡胶手错觉的研究中, 相较于外感受的整合作用所得到充分研究, 前庭觉、心跳觉知等内感受的调节作用之前一直被忽视, 但是内感受在统一稳定的身体拥有感的形成和更新过程中的作用却是不容忽视的(Crucianelli, Krahé, Jenkinson, & Fotopoulou, 2018)。

2.2　橡胶手错觉中内感受的调节作用

经典橡胶手错觉的实现主要是依靠视觉、触觉等外感受的整合来实现, 我们常用的衡量这种整合效果的方式是属于内感受之一的本体感觉的偏移。然而, 内感受是如何影响外感受的整合, 以及我们更感兴趣的, 内外感受具体如何整合的研究目前相对而言仍处于初探阶段。围绕内感受与拥有感体验关系的研究最早始于 Tsakiris Tajadura-Jiménez 和 Costantini (2011)。他们采用被试心跳知觉的准确性, 即在一小段时间内不借助外部工具估计自己心跳次数的正确率, 作为衡量个体内感受性高低的标准。结果显示, 内感受性的高低能有效预测被试在橡胶手错觉实验中拥有感体验程度的强弱: 内感受性高的个体更不容易对橡胶手产生拥有感体验, 反之, 内感受性较低的个体则更容易体验到较强的对橡胶手的拥有感错觉。这一结果似乎说明, 离线的、非即时的(off-line)内感受能力起着让被试更好地体验自身拥有感的作用, 因而会表现出对橡胶手产生拥有感错觉的抑制。随后 Suzuki 等(2013)采用“心跳橡胶手错觉”(cardiac rubber hand illusion)开展了类似的研究。实验使用 Kinect 获取被试手的三维模型, 并将其投影到被试所佩戴的头盔式显示器(head-mounted display, HMD)上。通过脉搏血氧计(pulse oximeter)将采集到的被试的心跳数据以改变虚拟手颜色的方式向被试提供“心跳视觉反馈” (cardio-visual feedback)。主试向被试的左手施加刷子的触觉, 同时让被试在头盔显示器中也看到虚拟手被刷子刷的画面, 从而保证实验条件中的视觉−触觉反馈。Suzuki 等的研究结果显示, 心跳视觉反馈会加强同等条件下被试对虚拟手的拥有感体验, 似乎内感受内容(实际心跳情况)的直观呈现能够促进其产生更强的对虚拟手的拥有感。类似的当内感受内容被人为地与外感受结合共同呈现给被试时, 全身错觉(Aspell et al., 2013)和识脸错觉(Sel, Azevedo, & Tsakiris, 2017)的研究也得到了相同的结果, 即内外感受的有效整合能促进个体的拥有感体验的产生。

作为个体体验不可分割的一部分, 与外感受不同, 内感受在橡胶手错觉实验中的影响始终是存在的。对内感受进行评估、报告甚至是施加一些干预能够帮助我们更科学地解释拥有感可塑性相关研究中所观察到的不同的现象。例如, 较之 Tsakiris 等对内感受性与拥有感错觉体验程度的相关研究, Suzuki 等的研究尝试了以在线的、即时的(on-line)方式将内感受的体验内容通过外感受之一的视觉通道向被试予以呈现, 两个研究结果之间的对比在一定程度上体现了内外感受整合对拥有感体验形成所产生的影响。两个研究结果之间的差异在于, 前者内感受并不是即时呈现的, 其作用更多的是维持个体原有的身体拥有感的稳定性, 体现的是离线的内感受性的作用; 而后者内感受的内容与虚拟手是共同呈现的, 其作用是促进对与内感受同步的外部对象产生拥有感, 体现的是在线的与外感受整合后的内感受的作用。基于此我们认为可以说, 如果自我的外感受模型强调的是源于身体外部的信号对身体拥有感所产生的自下而上(bottom-up)的影响, 那么内感受模型所强调的就是源于身体内部的信号对稳定的身体拥有感的保持所产生的自上而下(top-down)的影响。内外感受的整合在其中所起的作用便是更好地平衡自下而上和自上而下的影响, 从而保证个体在最大程度上拥有稳定、统一的自我感。这一假设的进一步检验需要我们能够设计更有针对性的实验。例如, 上述的研究说明外感受的效果会受内感受的影响, 那么反之内感受的效应是否会受到外感受产生影响? 又如内感受内容通过外感受通道呈现时能促进拥有感的形成, 那么对于感受性高的个体而言, 这种促进是更容易发生还是更不容易发生? 此外, 不同的内感受通道之间的相互作用和影响也值得后续研究的关注。

除了心跳信号，前庭刺激可能也在身体拥有性体验形成中发挥着重要的作用。首先，前庭信号在保持身体自我觉知的连续的心理表征中起着重要的作用(Pavlidou, Ferrè, & Lopez, 2018)。神经成像研究也确认前庭系统的投射和大脑中身体空间表征所涉及的区域是有重叠的(Lopez, Blanke, & Mast, 2012)。研究表明，前庭热刺激(caloric vestibular stimulation, CVS)，即通过灌入冷水或温水刺激内耳的半规管，可以激活对侧脑皮层的前庭区域，从而起到调节右半球中风患者的空间认知、身体觉知和身体拥有感的作用(Lenggenhager & Lopez, 2015)。Ponzo, Kirsch, Fotopoulou 和 Jenkinson (2018)通过采用较之 CVS 侵入性较小的前庭电刺激(galvanic vestibular stimulation, GVS)来对橡胶手错觉中的拥有感进行探究。GVS 的具体操作涉及通过使用放置于乳突上的两个电极施加很小的电流，其中阳极作用于左乳突、阴极作用于右乳突的方式被称为左前庭电刺激(LGVS)。Ponzo 等的实验结果表明，同步的视觉−触觉刺激条件下，LGVS 会显著地增强被试对橡胶手的拥有感，甚至即便只是让被试看着橡胶手的条件下，LGVS 也会导致被试出现朝向橡胶手的本体感觉偏移，说明前庭刺激能够对外感受整合形成拥有感的过程产生促进作用。

除却错觉研究，我们对身体自我的很多研究最初都是来源于神经病理学的研究。作为正常人，我们始终能感受到的只是有身体存在的体验，因此神经病理学案例中患者所表现出来的各种身体自我失调的现象，便是我们宝贵的理解多感官整合机制的材料。对拥有感可塑性的全面理解与认识不仅要重视实验，同时也要关注身体自我障碍患者身上所表现出来的拥有感的失调现象。

3 身体自我障碍中的多感官整合

3.1 神经病理学案例中的拥有感失调

偏侧躯体失认症最常见于右半球大脑受损之后，其主要特征是对受损脑区对侧肢体(通常是左侧)、近体和体外空间(peripersonal and extracorporeal space)的严重忽视(Azouvi, 2017)。在众多的偏侧躯体失认症的临床表现中，患者对身体部分的无视又可进一步细分为个人忽视(personal neglect)、运动忽视(motor neglect)和偏瘫病觉缺失(anosognosia for hemiplegia)。偏侧肢体失认症的主要受损脑区是右脑的颞顶联合皮层(temporal parietal junction, TPJ)、顶下小叶(inferior parietal lobe)和颞上回(superior temporal gyrus)等区，同时多感官刺激整合的相关研究表明，与其有着密切联系的脑区也包含颞−顶联合皮层、顶下小叶等区域(Chandrasekaran, 2017; Ohshiro, Angelaki, & DeAngelis, 2017)，因此，偏侧躯体失认症患者所表现出的身体拥有感障碍很有可能是源于多感官刺激整合的失败。

右顶叶受损还会表现出的一种典型障碍是躯体失认症，患此类疾病的病人通常会描述他们身体的某些部分从身体觉知中消失了，即失去对自己肢体的拥有感或产生对自己肢体不知道(非归属)的感受和信念。Arzy 曾描述过一位右脑前运动皮层(接收直接的顶叶输入的区域)受损的病人声称她自己右手臂的一部分曾经消失过而且现在还是透明的，并且有明显的切边，她能够透过手臂看到其所处位置的桌面。Wolpert 等描述过一位上顶叶(superior parietal lobe)受损的病人报告她的右侧肢体在空中漂浮，并随着视觉的受阻而消失于觉知中(张静, 2017)。研究表明躯体失认症可以通过碰触或注视患者消失的身体部分而得到缓解，说明多感官整合机制在身体部分的觉知、自我认同和具身性中至少发挥一定的作用。

另一类典型的拥有感紊乱是躯体妄想症。这类疾病通常也是由于右脑顶叶皮层受损，导致患者认为自己左侧的肢体并不是他们自己的。患者会丧失对这些肢体的感受，与此相伴的还有这些肢体运动能力的丧失。有别于偏侧躯体失认症的患者对受损脑对侧的身体部分单纯的忽视，躯体妄想症的病人往往在否认自己身体部分真实归属的同时还会声称这一特定的身体部分是属于别人的，如认为自己的手臂是医生的(Bolognini, Ronchi, Casati, Fortis, & Vallar, 2014)。Jenkinson 等(2013)通过实验设置转换被试的视角(直接的第一人称视角或是通过镜子呈现的第三人称视角)和空间的注意(个人近体空间或外部空间)，结果显示，躯体妄想症的病人在所有的第一人称视角下都否认对自己肢体的拥有感，但在第三人称视角下其拥有性是有显著提升的。并且，这种提升的程度有赖于空间的注意(spatial attention)，当其注意力被吸引至外部空间(靠近镜子)时，患者表现出相当好的对自己在镜子中的手臂的再认，但是当其注意力被吸引至近体空间(靠近自己)时，患者对

自己手臂的再认率只有另一种情况的一半。这些特殊现象说明右半球腹侧注意网络的病变会导致第一人称身体拥有感和刺激驱动注意的受损, 但在第三人称视角下、并且当空间注意力被引导至远离被试的外部空间时, 身体被识别为是自己的概率会大大增加, 此时很有可能是以已有身体意象为主导的自上而下(top-down)的机制在起作用从而帮助患者识别自己的身体部分。

上述三种典型病例其共同特征都是对身体的某一或某些部分的拥有感异常以及与之相伴随的认知障碍, 全身性的拥有感失调目前而言, 无论是实验室中还是临床中最具代表性的都是离体体验(out-of-body experiences, OBEs)。离体体验是一些特殊的状态, 最为核心的特征是当事人所体验到的自我、心智或觉知的中心是位于其物理身体之外的, 即在离体体验中, 首先当事人似乎是完全清醒的, 但他们通常都会报告的一种感觉是漂浮在空间中, 从而使得他们对于环境的觉知是一种被提升了的视角(elevated viewpoint) (Kaliuzhna, Vibert, Grivaz, & Blanke, 2015; Kessler & Braithwaite, 2016)。这种体验最常出现于癫痫(epilepsy)、偏头痛(migraine)以及人格解体(depersonalization)等患者身上, 例如一些有头晕(dizziness)症状的病人在首次出现头晕现象之后会体验到离体体验(Dieterich & Staab, 2017)。但据临床记录, 离体体验在普通人群中也并不罕见, Lopez 和 Elzière (2018)在对210名有头晕病史的患者和210名健康被试的对比研究中发现, 前者体验到离体体验的比例是 14%而后者是 5%。围绕离体体验的研究发现, 首先癫痫或中风所致的离体体验通常会伴有如自体幻视(autoscopy)等复杂的多感官错觉(Lopez, Heydrich, Seeck, & Blanke, 2010); 其次对身体障碍患者颞顶联合皮层的电刺激会引发离体体验, 而颞顶联合皮层与多感官加工密切相关是众所周知的(Bos, Spoor, Smits, Schouten, & Vincent, 2016); 并且在健康被试身上的研究也表明视觉和触觉信号的不匹配能够人为地引发离体体验(Ehrsson, 2007), 因此目前较为主流的观点认为视觉、触觉、本体感觉、内感受、运动信号等内外感受整合的失败是导致离体体验出现的主要原因。身体自我障碍的病理学案例能够为我们提供大量由于多感官整合失败而导致的身体拥有感异常的现象, 相应的干预与治疗研究也为内感受对身体拥有感的作用和可能的影响提供了更多的证据。

3.2 基于前庭刺激的干预与治疗

前庭系统与包括躯体感官区域在内的多感官皮层网络有着广泛的交互作用, 前庭系统的紊乱可能会引起包括离体体验等在内的多种躯体障碍(Lopez & Elzière, 2018)。不少临床观察显示前庭信号对计算身体的抽象认知表征以及形成身体的自我觉知都至关重要(Ferrè, Berlot, & Haggard, 2015)。前庭输入会影响健康个体对作用于手上的触觉刺激的定位, 如作用于被试手背上的触觉会被知觉为朝向手腕的位置。前庭热刺激还可能会导致个体对自己身体某些部分的大小的知觉产生变形或失真, 如觉得手指变大或是觉得手背变小等(Ferrè, Vagnoni, & Haggard, 2013)。有别于健康被试的知觉失真, 在由于脑损伤而出现身体自我障碍的患者身上, 前庭热刺激似乎能对身体表征和拥有感产生相反的效果。

Bottini 等(2005)通过将 CVS 作用于左脑或右脑受损的偏身麻木患者以及没有脑损伤的健康被试, 对比不同被试在 CVS 前后施加触觉刺激时的功能性磁共振成像(fMRI)结果, 左前庭热刺激能暂时缓解偏身麻木患者的病情。Ronchi 等(2013)通过将CVS作用于一个因左脑受损而导致严重右侧个人忽视和偏瘫病觉缺失的患者, 对比 CVS 前后的视觉空间测试(visuo-spatial tests)和病觉缺失问卷(anosognosia questionnaire)结果发现, 患者的个人忽视和偏瘫病觉缺失出现了暂时性的显著的好转。此外, 前庭热刺激似乎对躯体妄想症的患者也能起到暂时性的缓解症状的作用。Spitoni 等(2016)将 CVS 作用于一名重度慢性中风后中枢疼痛患者, 结果表明 CVS 能够有效地提高患者的运动技能、减轻疼痛、并且缓解躯体幻觉的症状。可见, CVS 对于身体拥有感障碍的改善现象是较为普遍的存在于躯体障碍患者身上的。D'Imperio, Tomelleri, Moretto 和 Moro (2017)在对躯体妄想症患者的治疗研究中发现, 多感官的视−触联合刺激作用也能够起到与前庭热刺激相似的作用, 减轻躯体妄想症状。就此而言, 内外感受或许能够通过不同的途径而实现相同的功能。

Salvato 等(2018)通过给一位由于右脑颞顶联合皮层中风而罹患躯体妄想症的患者施加CVS而使其暂时性地恢复了肢体拥有感, 并且测量施加刺激前后患者的手部温度发现在CVS之后被试的

手部温度出现了升高。已有研究表明，体温和身体拥有感存在某种程度的正相关，在橡胶手错觉的研究中，与对橡胶手产生拥有感错觉体验相伴随的表现之一是被试与之相对应的手部温度会出现下降(Moseley et al., 2008; Kammers, Rose, & Haggard, 2011)，说明在对外部对象产生拥有感的同时，被试对自身真实身体部分的拥有感是在减弱的。Sedda, Tonin, Salvato, Gandola 和 Bottini (2016)发现 CVS 对身体表征的影响，不仅体现在会降低身体温度方面，更重要的是它还能够提高被试的触觉敏感性。虽然对橡胶手错觉中手部温度的变化，不同的研究存在一些出入(de Haan et al., 2017)，但是 CVS 之后的手部温度上升也至少在一定程度上说明了前庭刺激作为内感受的一种在拥有感形成过程中起作用。

综上，前庭信号对于稳定统一的拥有感形成至关重要，前庭刺激不仅会对正常被试的身体拥有感造成影响，而且还会影响身体障碍患者对自身身体拥有感的体验。但是如果使用恰当，前庭刺激能有助于某些疾病的治疗与康复。当前对于由脑损伤所导致的身体自我障碍有关的疾病并没有完善的治疗方法，基于一些个案研究，某些患者的症状可以通过前庭刺激得到暂时的缓解。这些觉知上的改变可能是右侧脑后上颞叶和顶叶区域受到暂时性的过度刺激所造成的，因为这两个区域恰好涉及第一人称视角对自我和他者空间关系的表征。更一般地讲，对前庭的、视前庭眼动以及躯体感觉的过度刺激可能会暂时性地改变病人的空间参考系，从而改善与之相关的视觉运动和躯体感官的功能缺陷(张静, 2017)。

遗憾的是，总体而言，当前围绕身体拥有感影响因素的研究，内感受的研究远少于外感受的研究，对内外感受整合的直接研究更是凤毛麟角，仅见于针对健康被试的几例研究(Ferrè et al., 2015; Ponzo et al., 2018)。当前有关前庭刺激对身体拥有感的影响或是对身体自我障碍患者的治疗作用主要是基于零碎的个案研究，因此系统的理论框架以及可以通过实证研究进行检验的理论假设对于身体拥有感可塑性的研究将会有较大的推动作用。

4 身体拥有感可塑性的自由能量原理

有关身体拥有感可塑性的解释中，自由能量原理(free-energy principle)是当前广受关注的理论。其基本概念源于热力学第二定律(熵增定律)，认为在所有过程中，熵的增加是必然且不可逆的。一个封闭系统的整体状态只能是从有序变为无序，我们在局部范围内观察到的有序或许可以通过一些手段达成，但其代价就是给外部带来更多的无序(Friston, 2018; Buckley, Kim, McGregor, & Seth, 2017)。作为个体评估内、外部环境从而保持平衡以及抵制失调的一个重要器官，大脑也遵循相同的机制，即必须保持比较低的熵值(Bruineberg, Kiverstein, & Rietveld, 2018)。这就意味着，在不断变化的环境中，自主体会有尽可能保持状态稳定的自然倾向以减少震惊(surprise)的出现，因此自由能量原理又称最小震惊原理。为了实现这一目标，自主体或通过作用于环境改变输入(选择更为熟悉的环境以减少预测错误的出现)，或通过更新对输入信息的评估来减少并避免震惊的出现(不断更新对原因的评估从而对感官事件的结果做出最优的推论)。这一过程体现在身体自我表征方面最明显的现象便是身体拥有感的可更新性和可塑性。

自由能量原理最重要的一个方面是对感官系统的组织和系统中的信息流进行假设，这些假设具体可用一个“预测编码”的分级模型进行概括。该模型支持自上而下和自下而上加工过程的分层互补(Badcock, Friston, & Ramstead, 2019)。在 Tsakiris (2010)提出的对于身体拥有感是如何形成的解释中提及两类模型，“自上而下”的解释认为拥有感的形成主要涉及个体内部身体地图(internal body maps)，外部刺激只是起辅助作用；“自下而上”的解释认为拥有感的形成主要依赖于多感官刺激的整合，受内部身体地图的影响非常有限。结合橡胶手错觉的具体实例而言，自下而上的信息在层级结构间的流动反映的是感官事件的影响(如橡胶手错觉中放置于被试面前的橡胶手被刷子刷时所产生的视触觉刺激)，自上而下的信息则是以预测感官事件结果的形式在层级间流动(如我们主观上是无法感受到施加在橡胶手上的触觉刺激的)。在这一结构的最高层是加工感官输入中抽象表征的多感官区域，负责对自下而上的信息和自上而下的信息加以整合并进行表征。

根据预测编码理论的主张，无论是自上而下的信息还是自下而上的信息都是通过两类名为表

征单元(representational units)和错误单元(error units)的独立的神经元加工的(Williford, Bennequin, Friston, & Rudrauf, 2018)。前者处理感官输入的概率表征, 后者则在预期和实际的感官事件之间出现冲突时对错误进行编码。在这些层级的每一个水平内部, 表征单元和错误单元的神经元都会进行大量的信息交换, 从而使得震惊事件所引起的一个大的、早期的反应能够局部地更新先验概率表征。除了局部的信息交换外, 错误单元中任何未被解释的震惊都会被投射至这些层级结构的上一个水平的表征单元中。这就使得震惊事件会引起流向更高层级的预测错误。与此同时, 表征单元会动态地更新先验预测, 并且将这些信息在层级结构中向下投射, 从而表征单元会在层级结构的前一水平"解释掉"错误。这一动态过程受到自由能量最小化的限制, 系统通过更新生成模型中的概率分布来迅速地最小化感官系统中的震惊(预测错误), 直到推断出感官事件最可能的原因。

综上, 身体拥有感的形成大体而言涉及如下三个水平: 首先, 是被观察物体的视觉外观和个体已经存在的、相对稳定的身体意象之间的比较, 只有当两者相似度足够高时, 第二个水平的比较才会启动。在橡胶手错觉实验中, 与拥有感的产生高度相关的颞顶联合皮层所起的便是对特定的身体部位进行拟合度的检验(Faivre et al., 2016)。其次是对当前个体自身的身体状态或姿势和被观察物体的结构和位置特性的比较, 两者之间如果继续能够达到足够的知觉相似性才会进入第三层次的比较。在第二阶段的比较中, 起主要作用的可能是顶下小叶, 负责完成对身体部分的空间关系的表征(Dijkerman & de Haan, 2007)。最后才是不同感官信息, 如触觉和视觉, 之间的比较, 所涉及的主要皮层有腹侧前运动皮层(ventral premotor cortex)、顶内沟(intraparietal cortex)以及顶下小叶等。这些区域或是在视触刺激相匹配的情况下被激活, 或是作用于消解视触刺激之间的冲突, 从而实现对视触坐标系的再校准(Rao & Kayser, 2017)。对橡胶手产生拥有感的过程中所涉及的皮层或结构的研究进一步说明, 身体拥有感形成的脑过程既会受实时的感官信息的影响, 又会受外部刺激与内部模型是否匹配的影响。基于预测编码的解释框架, Zeller, Litvak, Friston 和 Classen (2015)指出橡胶手错觉的出现很有可能就是个体降低了感官信号的精确性从而以自上而下的方式来解决感官的不确定性。此外, 橡胶手错觉产生所涉及的皮层或结构与身体拥有感障碍患者主要的受损脑区有着较高的重合度, 这也在一定程度上说明了多感官整合在拥有感产生和保持过程中的重要性, 多感官整合的失败有可能造成个体出现某些特定身体部分拥有感的障碍。

在自由能量原理的理论框架下, 我们可以提出一些系统且具体的可供检验的假设并开展进一步的研究证实或证伪拥有感的可塑性, 从而不断改进和修正原有的假设。

5　结语与展望

我是如何感受并知道我的身体是我的, 即身体自我的拥有性问题和身体自我的表征和感受的问题, 一直备受心理学家和哲学家的关注。传统研究往往只重视认知系统自上而下的作用, 认为我们拥有一个关于身体各部分特征的相对稳定的意象。橡胶手错觉研究所揭示出的身体自我拥有感的可变性、病理学案例中患者身上所表现出的身体自我障碍的特殊性, 这些现象均提示我们需要重视身体拥有感具有可塑性这一理论假设, 这一假设的检验就需要我们同时考量源于身体外部的和内部的各类感受的共同作用。内外感受整合的研究当面所面临的问题很大程度上在于内感受的研究, 因此相关研究的全面推进需要重视如下几个方面的问题。

首先是内感受的研究方法, 主要涉及测量和刺激呈现问题。不同于外感受, 内感受的有效刺激往往是不可知的, 即便对于某些可以识别的内感受变量, 在实验层面进行控制也是相当困难的。非侵入式的心跳知觉(heartbeat perception)的精确性是当前最受青睐的内感受敏感性的指标之一。然而, 目前最常用的两种心跳知觉任务, 心跳追踪范式(heartbeat tracking)和二项迫选法(two alternative forced choice methods), 都被认为或在测量结果上存在偏差、或在有效性上存在问题(Brener & Ring, 2016), 因此, 一方面心跳知觉任务测量方法的客观性和有效性需要得到提升, 另一方面研究者也需要不断探索除了心跳知觉任务以外的其它方法。此外, 由于直接在人类被试身上施加内感受刺激在绝大多数情况下都是不恰当的, 因此内感受的刺激呈现问题也是需要着力解决的。

其次，就内感受的研究内容而言，需要更加关注影响内感受的高阶认知因素。实验心理学一直都有将身体视为自我研究起点的传统，对自我全面而充分的理解必然要求我们要从身体的自我走向叙事的自我。内外感受信号的整合不仅对身体自我觉知的一致性而言至关重要，近来的一些研究还表明内外感受信号的整合可能还在情绪情感(例如焦虑感) (Wu, Shi, Wei, & Qiu, 2018)、社会认知(Tsakiris, 2016)等自我的高阶认知方面发挥重要的作用。通过对内感受作用机制的进一步分析或许能够帮助我们更好地解读心理理论乃至人类心智的层级等问题(Ondobaka, Kilner, & Friston, 2017)。

最后，就内感受的研究对象而言，健康被试、脑损伤与神经病理学患者固然是其中重要的组成部分，但是某些神经症患者也非常值得关注。越来越多的研究发现内感受的功能障碍和很多心理健康疾病(惊恐发作、抑郁症、饮食失调等)之间存在着密切的关系。例如，惊恐发作的患者往往会表现出胸闷、头晕、脸红等躯体症状；抑郁症的患者常常会伴有食欲的暴增或巨减、易疲劳、嗜睡等躯体感受；饮食失调患者最常见的则是身体意象出了问题(Khalsa et al., 2018)。内感受的研究除了帮助我们更好地理解健康个体如何在不断变化的环境中保持稳定统一的自我感，也能够为某些疾病的临床干预和康复提供更多的指引与启发。

参考文献

张静. (2017). *自我和自我错觉: 基于橡胶手和虚拟手错觉的研究*. 北京: 中国社会科学出版社.

张静, 陈巍. (2016). 身体意象可塑吗?——同步性和距离参照系对身体拥有感的影响. *心理学报, 48*(8), 933–945.

Aspell, J. E., Heydrich, L., Marillier, G., Lavanchy, T., Herbelin, B., & Blanke, O. (2013). Turning body and self inside out: Visualized heartbeats alter bodily self-consciousness and tactile perception. *Psychological Science, 24*(12), 2445–2453.

Azouvi, P. (2017). The ecological assessment of unilateral neglect. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 60*(3), 186–190.

Badcock, P. B., Friston, K. J., & Ramstead, M. J. D. (2019). The hierarchically mechanistic mind: A free-energy formulation of the human psyche. *Physics of Life Reviews*, doi:10.1016/j.plrev.2018.10.002

Bolognini, N., Ronchi, R., Casati, C., Fortis, P., & Vallar, G. (2014). Multisensory remission of somatoparaphrenic delusion: My hand is back! *Neurology: Clinical Practice, 4*(3), 216–225.

Bos, E. M., Spoor, J. K. H., Smits, M., Schouten, J. W., & Vincent, A. J. P. E. (2016). Out-of-body experience during awake craniotomy. *World Neurosurgery, 92*, 586. e9–586. e13.

Bottini, G., Paulesu, M., Gandola, S., Loffredo, P., Scarpa, R., Sterzi, l., … Vallar, G. (2005). Left caloric vestibular stimulation ameliorates right hemianesthesia. *Neurology, 65*(8), 1278–1283.

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature, 391*(6669), 756–756.

Braun, N., Debener, S., Spychala, N., Bongartz, E., Sörös, P., Müller, H. H. O., & Philipsen, A. (2018). The senses of agency and ownership: A review. *Frontiers in Psychology, 9*, 535.

Brener, J., & Ring, C. (2016). Towards a psychophysics of interoceptive processes: The measurement of heartbeat detection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 371*(1708), 20160015.

Bruineberg, J., Kiverstein, J., & Rietveld, E. (2018). The anticipating brain is not a scientist: The free-energy principle from an ecological-enactive perspective. *Synthese, 195*(6), 2417–2444.

Buckley, C. L., Kim, C. S., McGregor, S., & Seth, A. K. (2017). The free energy principle for action and perception: A mathematical review. *Journal of Mathematical Psychology, 81*, 55–79.

Chandrasekaran, C. (2017). Computational principles and models of multisensory integration. *Current Opinion in Neurobiology, 43*, 25–34.

Critchley, H. D., & Garfinkel, S. N. (2017). Interoception and emotion. *Current Opinion in Psychology, 17*, 7–14.

Crucianelli, L., Krahé, C., Jenkinson, P. M., & Fotopoulou, A. (2018). Interoceptive ingredients of body ownership: Affective touch and cardiac awareness in the rubber hand illusion. *Cortex, 104*, 180–192.

D’Imperio, D., Tomelleri, G., Moretto, G., & Moro, V. (2017). Modulation of somatoparaphrenia following left-hemisphere damage. *Neurocase, 23*(2), 162–170.

de Haan, A. M., van Stralen, H. E., Smit, M., Keizer, A., van der Stigchel, S., & Dijkerman, H. C. (2017). No consistent cooling of the real hand in the rubber hand illusion. *Acta Psychologica, 179*, 68–77.

Dieterich, M., & Staab, J. P. (2017). Functional dizziness: From phobic postural vertigo and chronic subjective

dizziness to persistent postural-perceptual dizziness. *Current Opinion in Neurology, 30*(1), 107–113.

Dijkerman, H. C., & de Haan, E. H. (2007). Somatosensory processing subserving perception and action: Dissociations, interactions, and integration. *Behavioral and Brain Sciences, 30*(2), 224–230.

Ehrsson, H. H. (2007). The experimental induction of out-of-body experience. *Science, 317*(5841), 1048.

Faivre, N., Doenz, J., Scandola, M., Dhanis, H., Ruiz, J. B., Bernasconi, F., …, & Blanke, O. (2016). Self-grounded vision: Hand ownership modulates visual location through cortical β and γ oscillations. *The Journal of Neuroscience, 37*(1), 11–22.

Ferrè, E. R., Berlot, E., & Haggard, P. (2015). Vestibular contributions to a right-hemisphere network for bodily awareness: Combining galvanic vestibular stimulation and the "rubber hand illusion". *Neuropsychologia, 69*, 140–147.

Ferrè, E. R., Vagnoni, E., & Haggard, P. (2013). Vestibular contributions to bodily awareness. *Neuropsychologia, 51*(8), 1445–1452.

Friston, K. (2018). Does predictive coding have a future? *Nature Neuroscience, 21*, 1019–1021.

Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(1), 14–21.

Guterstam, A., Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2011). The illusion of owning a third arm. *PLoS One, 6*(2), e17208.

Jenkinson, P. M., Haggard, P., Ferreira, N. C., & Fotopoulou, A. (2013). Body ownership and attention in the mirror: Insights from somatoparaphrenia and the rubber hand illusion. *Neuropsychologia, 51*(8), 1453–1462.

Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The moving rubber hand illusion revisited: Comparing movements and visuotactile stimulation to induce illusory ownership. *Consciousness and Cognition, 26*, 117–132.

Kaliuzhna, M., Vibert, D., Grivaz, P., & Blanke, O. (2015). Out-of-body experiences and other complex dissociation experiences in a patient with unilateral peripheral vestibular damage and deficient multisensory integration. *Multisensory Research, 28*(5-6), 613–635.

Kammers, M. P. M., Rose, K., & Haggard, P. (2011). Feeling numb: Temperature, but not thermal pain, modulates feeling of body ownership. *Neuropsychologia, 49*(5), 1316–1321.

Kessler, K., & Braithwaite, J. J. (2016). Deliberate and spontaneous sensations of disembodiment: Capacity or flaw? *Cognitive Neuropsychiatry, 21*(5), 412–428.

Khalsa, S. S., Adolphs, R., Cameron, O. G., Critchley, H. D., Davenport, P. W., Feinstein, J. S., … Paulus, M. P. (2018). Interoception and mental health: A roadmap. *Biological Psychiatry Cognitive Neuroscience & Neuroimaging, 3*(6), 501–513.

Lenggenhager, B., & Lopez, C. (2015). Vestibular contributions to the sense of body, self, and others. In T. Metzinger., & J. M. Windt (Eds.), *Open MIND: 23*(T). Frankfurt am Main: MIND Group. doi: 10.15502/9783958570023.

Lloyd, D. M. (2007). Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand. *Brain and Cognition, 64*(1), 104–109.

Lopez, C., & Elzière, M. (2018). Out-of-body experience in vestibular disorders——A prospective study of 210 patients with dizziness. *Cortex*, *104*, 193–206.

Lopez, C., Blanke, O., & Mast, F. W. (2012). The human vestibular cortex revealed by coordinate-based activation likelihood estimation meta-analysis. *Neuroscience, 212*(9), 159–179.

Lopez, C., Heydrich, L., Seeck, M., & Blanke, O. (2010). Abnormal self-location and vestibular vertigo in a patient with right frontal lobe epilepsy. *Epilepsy & Behavior, 17*(2), 289–292.

Moseley, G. L., Olthof, N., Venema, A., Don, S., Wijers, M., Gallace, A., & Spence, C. (2008). Psychologically induced cooling of a specific body part caused by the illusory ownership of an artificial counterpart. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105*(35), 13169–13173.

Murphy, J., Brewer, R., Catmur, C., & Bird, G. (2017). Interoception and psychopathology: A developmental neuroscience perspective. *Developmental Cognitive Neuroscience, 23*, 45–56.

Ohshiro, T., Angelaki, D. E., & DeAngelis, G. C. (2017). A neural signature of divisive normalization at the level of multisensory integration in primate cortex. *Neuron, 95*(2), 399–411.

Ondobaka, S., Kilner, J., & Friston, K. (2017). The role of interoceptive inference in theory of mind. *Brain and Cognition, 112*, 64–68.

Pavlidou, A., Ferrè, E. R., & Lopez, C. (2018). Vestibular stimulation makes people more egocentric. *Cortex, 101*, 302–305.

Ponzo, S., Kirsch, L. P., Fotopoulou, A., & Jenkinson, P. M. (2018). Balancing body ownership: Visual capture of proprioception and affectivity during vestibular stimulation.

Neuropsychologia, 117, 311–321.

Rao, I. S., & Kayser, C. (2017). Neurophysiological correlates of the rubber hand illusion in late evoked and alpha/beta band activity. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*, 377.

Riemer, M., Bublatzky, F., Trojan, J., & Alpers, W. (2015). Defensive activation during the rubber hand illusion: Ownership versus proprioceptive drift. *Biological Psychology, 109*, 86–92.

Ronchi, R., Rode, G., Cotton, F., Farnè, A., Yves, R., & Sophie, J. (2013). Remission of anosognosia for right hemiplegia and neglect after caloric vestibular stimulation. *Restorative Neurology and Neuroscience, 31*(1), 19–24.

Salvato, G., Gandola, M., Veronelli, L., Berlingeri, M., Corbo, M., & Bottini, G. (2018). The vestibular system, body temperature and sense of body ownership: A potential link? Insights from a single case study. *Physiology & Behavior*, *194*. doi: 10.1016/j.physbeh.2018.07.008.

Sedda, A., Tonin, D., Salvato, G., Gandola, M., & Bottini, G. (2016). Left caloric vestibular stimulation as a tool to reveal implicit and explicit parameters of body representation. *Consciousness and Cognition, 41*, 1–9.

Sel, A., Azevedo, R. T., & Tsakiris, M. (2017). Heartfelt self: Cardio-visual integration affects self-face recognition and interoceptive cortical processing. *Cerebral Cortex, 27*(11), 5144–5155.

Shimada, S., Fukuda, K., & Hiraki, K. (2009). Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PLoS One, 4*(7), e6185.

Spitoni, G. F., Pireddu, G., Galati, G., Sulpizio, V., Paolucci, S., & Pizzamiglio, L. (2016). Caloric vestibular stimulation reduces pain and somatoparaphrenia in a severe chronic central post-stroke pain patient: A case study. *PLoS One, 11*(3), e0151213.

Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: A neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia, 48*(3), 703–712.

Tsakiris, M. (2016). The multisensory basis of the self: From body to identity to others. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 70*(4), 597–609.

Tsakiris, M., Haggard, P., Franck, N., Mainy, N., & Sirigu, A. (2005). A specific role for efferent information in self-recognition. *Cognition, 96*(3), 215–231.

Tsakiris, M., Prabhu, G., & Haggard, P. (2006). Having a body versus moving your body: How agency structures body-ownership. *Consciousness and Cognition, 15*(2), 423–432.

Tsakiris, M., Tajadura-Jiménez, A., & Costantini, M. (2011). Just a heartbeat away from one's body: Interoceptive sensitivity predicts malleability of body-representations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278*(1717), 2470–2476.

Williford, K., Bennequin, D., Friston, K., & Rudrauf, D. (2018). The projective consciousness model and phenomenal selfhood. *Frontiers in Psychology, 9*, 2571.

Wu, X., Shi, L., Wei, D. T., & Qiu, J. (2018). Brain connection pattern under interoceptive attention state predict interoceptive intensity and subjective anxiety feeling. *Human Brain Mapping*, *40*(6), 1760–1773. doi:10.1002/hbm.24488

Zeller, D., Litvak, V., Friston, K. J., & Classen, J. (2015). Sensory processing and the rubber hand illusion – An evoked potentials study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(3), 573–582.

Zhang, J., & Hommel, B. (2016). Body ownership and response to threat. *Psychological Research, 80*(6), 1020–1029.

Zhang, J., Chen, W., & Qian, Y. (2018). How sense of agency and sense of ownership can affect anxiety: A study based on virtual hand illusion. *Annals of Psychology, 34*(3), 430–437.

Zhang, J., Ma, K., & Hommel, B. (2015). The virtual hand illusion is moderated by context-induced spatial reference frames. *Frontiers in Psychology, 6*, 1659.

Sense of body ownership and its plasticity: Based on the perspectives from the studies of interoception and exteroception

ZHANG Jing[1]; CHEN Wei[2]

([1] *Institute of Psychological Health, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou* 310018, *China*)

([2] *Department of Psychology, Shaoxing University, Shaoxing* 312000, *China*)

Abstract: Sense of body ownership (that one's body belongs to oneself) in bodily self-representation has always been a core topic in the research of self-consciousness. A good deal of studies indicated that the experience of bodily ownership involves integrating different sensory signals from both outside and inside environments. However, most studies put emphasis on the roles of exteroception such as vison or touch thus neglected the importance of interoception as well as the integration of exteroception and interoception. The effects of exteroception and interoception that revealed by rubber hand illusion experiments and bodily self-disorders support the plasticity hypothesis of sense of body ownership, and the free energy principle proposes a hypothesis that the basis of sense of self is that the brain constantly evaluates and updates possible representations to maintain stability. Future studies need to seek breakthroughs in improving the measurement and presentations of interoception, exploring the higher-level cognitive factors that affect interoception, and paying attention to the interoceptive aspects of patients with specific disorders.

Key words: sense of body ownership; plasticity; multisensory integration; interoception; free energy principle